

(45)発行日 平成12年5月8日(2000.5.8)

(24)登録日 平成12年3月3日(2000.3.3)

(51)Int.Cl.  
G 01 F 1/66識別記号  
101F I  
G 01 F 1/66

101

A

請求項の数1(全6頁)

(21)出願番号 特願平4-264009  
 (22)出願日 平成4年10月2日(1992.10.2)  
 (65)公開番号 特開平6-117895  
 (43)公開日 平成6年4月28日(1994.4.28)  
 審査請求日 平成10年5月20日(1998.5.20)

(73)特許権者 000005234  
 富士電機株式会社  
 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号  
 (72)発明者 太田 徹  
 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号  
 富士電機株式会社内  
 (74)代理人 100085833  
 弁理士 松崎 清  
 審査官 江塚 政弘  
 (56)参考文献 特開 昭61-147112 (JP, A)  
 特開 昭63-233323 (JP, A)  
 特開 平5-209766 (JP, A)  
 実開 昭57-72679 (JP, U)

最終頁に続く

(54)【発明の名称】超音波流量計

1

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】配管内を流れる流体の流れに対しくさび材を介して或る一定の打ち込み角度をもって音波を伝搬させ、上流の超音波振動子から下流の超音波振動子までの音波の伝搬時間と下流の超音波振動子から上流の超音波振動子までの音波の伝搬時間との差から流体の流速または流量を計測する超音波流量計において、前記超音波振動子を圧電材料から、また、前記くさび材をポリイミド系のエンジニアリングプラスチックから形成するとともに、両者を接着するためのポリイミド系の接着材に充填材としてシリカを混入したことを特徴とする超音波流量計。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】この発明は、流体の流れに対して

2

斜めに音波を伝播させたときの、超音波の伝搬時間差から流体の流速または流量を計測するようにした、いわゆる超音波流量計に関する。

【0002】

【従来の技術】図6は透過型超音波流量計の測定原理を説明するための説明図である。まず、上流の超音波振動子1を超音波により励起すると、出射された超音波は斜角クサビ3に伝搬される。この斜角クサビ3は流体の流れ5に対し、超音波を斜めに入射させるものである。さらに、超音波は配管4から配管内の流れ5へと伝搬するが、斜角クサビ3と配管4、配管4と配管内の流れ5との各境界面においては、図7に示す如きスネルの法則に従って音波は屈折する。なお、図7の*i*, *o*はそれぞれ媒質、 $\theta_i$ ,  $\theta_o$ はそれぞれ入射角、反射(出射)角、 $C_i$ ,  $C_o$ はそれぞれ媒質*i*, *o*での音速を示してい

る。

【0003】配管内の流れ5へと伝搬した音波は対向面に到達し、再び境界面（流体と配管、配管とクサビ）で屈折したのち下流の超音波振動子2で受信される。この上流から下流の超音波センサに到達するまでの音波の伝搬時間をT12とし、逆に下流の超音波振動子2を励起\*

$$T_{12} = 2\tau + \frac{2D/\cos\theta}{C + V \cdot \sin\theta}$$

$$T_{21} = 2\tau + \frac{2D/\cos\theta}{C - V \cdot \sin\theta}$$

【0004】上式からも明らかなように、流速があると（Vが零でないとき）T12、T21に時間差が生じることが分かる。かかる超音波流量計は内径が25mm～3000mmの配管内の流速、流量が測定できることから、一般に幅広く用いられている。ところで、斜角クサビの材料としてはその内部での多重反射が問題とならないような、適度の音波減衰率を持つ樹脂が用いられ、一般にはアクリル、エポキシ系の樹脂が用いられる。これらの樹脂の耐熱温度はアクリルでは80°C、エポキシでは120°C付近であり、200°C以上の高温高精度流量計の実現は不可能とされていた。しかし、最近、各種の耐熱性エンジニアリングプラスチック（以下、エンブラーとも云う）が商品化され、クサビ材としての耐熱性には問題はなくなった。しかし、振動子とエンブラーとの線膨張係数の相違により、両者が破壊するという新たな問題が生じている。

#### 【0005】

【発明が解決しようとする課題】つまり、動作温度範囲が広範囲にわたる場合には、振動子、接着剤、クサビ材それぞれの線膨張係数の相違から熱応力を生じ各部材の破壊を招くという問題がある。また、接着剤がPure（純粋）な樹脂のみとすると、振動子と接着剤との音響インピーダンスの差が大きく、振動子からの音波がクサビ材へ充分に伝搬しないという問題もある。したがって、この発明の課題は振動子とクサビ材の間に発生する熱応力を緩和するとともに、クサビ材への音波の伝搬率を高めることにある。

#### 【0006】

【課題を解決するための手段】かかる課題を解決するため、この発明では、配管内を流れる流体の流れに対しクサビ材を介して或る一定の打ち込み角度をもって音波を伝搬させ、上流の超音波振動子から下流の超音波振動子までの音波の伝搬時間と下流の超音波振動子から上流の超音波振動子までの音波の伝搬時間との差から流体の流速または流量を計測する超音波流量計において、前記

\* し上流の超音波振動子1で音波を受信する場合の伝搬時間とT21とすると、それぞれの伝搬時間は次の（1）、（2）式で表わされる。なお、τは配管、斜角クサビでの伝搬時間、Dは配管の内径、Cは流体の音速、Vは流体の流速をそれぞれ示す。

… (1)

… (2)

超音波振動子を圧電材料から、また、前記くさび材をポリイミド系のエンジニアリングプラスチックから形成するとともに、両者を接着するためのポリイミド系の接着材に充填材としてシリカを混入したことを特徴としている。

#### 【0007】

【作用】超音波振動子とくさび材とを接着するための接着剤に充填材を混入することにより、接着剤全体としての線膨張係数が小さくなる。これにより、振動子、接着剤、クサビ材相互の熱応力が緩和される。また、密度が大きくなり硬度も増すことから、超音波の減衰も小さくなる。

#### 【0008】

【実施例】図1はこの発明の1実施例を示す構成図である。同図は超音波振動子6、接着剤7およびクサビ材（斜角クサビ）3の関係を示しており、斜角クサビ3の上面に振動子6を接着剤7により取り付けて構成した超音波センサを示している。つまり、このような構成自体は公知であるが、ここでは振動子6には例えばPZT

〔Pb(Zr·Ti)O<sub>3</sub>〕の如き圧電素子を用い、斜角クサビ3にはポリイミド系のエンブラーを用いており、エンブラーの線膨張係数は振動子に比べて1桁程度大きいので、その両者の線膨張係数の差を緩和するために、ポリイミド系の接着剤に球状溶融シリカを充填した点などを特徴としている。そして、球状溶融シリカとしては、平均0.5μmで真球状のシリカの微粉末とし、その大きさとしては、使用する超音波（1MHz）の波長の1/10以下の値とし、かつ形状を球形とすることで超音波の散乱、屈折などの悪影響をなくすようにしている。

【0009】次に、樹脂に充填剤を混入した場合、線膨張係数αと線弾性係数Eとの間にはφを体積分率（φ<sub>1</sub>、φ<sub>2</sub>の1で接着剤、2で充填材を示し、以下同様とする。）、Bを体積弾性率、Gを横弾性率、νをボアン比として、（3）、（4）式のような関係が成立する。

$$\begin{aligned}
 & \alpha = \alpha_1 \phi_1 + \alpha_2 \phi_2 - (\alpha_1 - \alpha_2) \phi_1 \phi_2 \\
 & \quad 1/B_1 - 1/B_2 \\
 & \times \frac{5}{\phi_1/B_2 + \phi_2/B_1 + 3/4G_1} \\
 & \quad 1 + AB\phi_2 \\
 E = & \frac{1 - B\psi\phi_2}{1 - 5\nu_1} \quad (1 - \phi_m)\phi_2 \\
 \text{ただし, } A = & \frac{7 - 10\nu_1}{E_2/E_1 - 1}, \quad \psi = 1 + \frac{\phi m^2}{\phi m^2} \\
 B = & \frac{E_2/E_1 + A}{E_2/E_1 + A}
 \end{aligned}$$

… (3)

… (4)

【0010】図2は上記(3), (4)式に従い充填材の体積分率 $\phi_2$ を0~90%まで変化させたときの、線膨張係数 $\alpha$ と継弾性係数Eの変化を示している。同図から明らかのように、充填量を多くすれば実線にて示す継弾性係数Eは小さくなるが、点線にて示す継弾性係数Eは次第に大きくなっている。また、図3は図2の $\alpha$ とEをもとに計算した熱応力を示している。この場合の計算モデルとしては図4に示すような、円盤型の振動子6を充分大きなクサビ材3に接着剤7で接着した場合の例を想定している。図3からも分かるように、シリカの充填量を増やせば振動子の熱応力は低下していくが、接着剤\*

\*とクサビ材の熱応力は上昇傾向にある。これは、接着剤の線膨張係数の低下により振動子の熱応力が緩和される一方で、クサビ材に接着剤と同じポリイミド系の樹脂を用いたため、シリカ充填により線膨張係数の差が大きくなってしまうためと考えられている。なお、図3の実線は振動子、点線は接着剤、一点斜線はクサビ材3の場合をそれぞれ示している。また、図4(イ)は超音波センサの上面図、同(ロ)はその側面図、(ハ)は熱膨張した結果を示す側面図である。

【0011】この発明の実施例で用いる接着剤と充填材の物性値の一例を表1に示す。

表 1

	接着剤	充填材
線膨張率 [ /°C ]	$\alpha_1 = 44.3 \times 10^{-6}$	$\alpha_2 = 0.5 \times 10^{-6}$
体積分率	$\phi_1 = 1$	$\phi_2 = 0 \sim 0.90$
体積縮線率 [ $\times 10^9 \text{ Pa}$ ]	$B_1 = 5.02$	$B_2 = 37.00$
横弾性率 [ $\times 10^9 \text{ Pa}$ ]	$G_1 = 5.02$	—
継弾性率 [ $\times 10^9 \text{ Pa}$ ]	$E_1 = 5.02$	$E_2 = 73.00$
ポアソン比	$\nu_1 = 0.35$	—
最大充填分率	—	$\phi_m = 0.9$

【0012】図5はシリカの充填量による接着剤の音響インピーダンス変化の様子を示している。接着剤に比べてシリカは密度が大きく硬いので、充填量を増やすことによって音響インピーダンスが大きく変化することが分かる。以上の考察から、シリカの充填量を増やせば音響

特性は良くなるが、熱応力については一概に良いとは言えない。したがって、使用用途に合わせて両者のバランスを考えて充填量を決めることが必要となる。

【0013】

【発明の効果】この発明によれば、接着剤に充填材を混

入することにより、その線膨張係数を超音波振動子とエンジニアリングプラスチックとの中間的な値にするようにしたので、振動子と接着剤との境界で発生する熱応力を緩和することができる。さらには、接着剤の音響インピーダンスが大きくなることから、超音波の伝搬率を向上させることができるとなる利点が得られる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施例を示す斜視図である。

【図2】充填量に応じた線膨張係数と縦弾性率の関係を示す特性図である。

【図3】振動子、接着剤、くさび材の充填量に応じた熱応力を示す特性図である。

\* 【図4】図3の特性変化を得るために用いられた振動子、接着剤およびくさび材の例を説明するための説明図である。

【図5】充填量による音響インピーダンスを説明するための特性図である。

【図6】透過型超音波流量計の測定原理を説明するための説明図である。

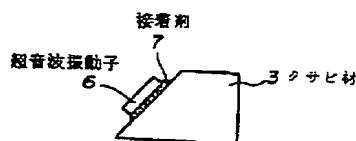
【図7】スネルの法則を説明するための説明図である。

## 【符号の説明】

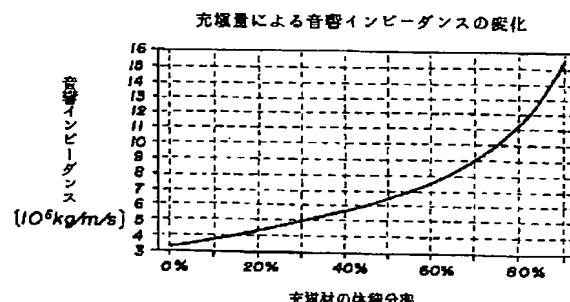
10 1, 2, 6…超音波振動子、3…斜角くさび、4…配管、5…流体（流れ）、7…接着剤。

\*

【図1】

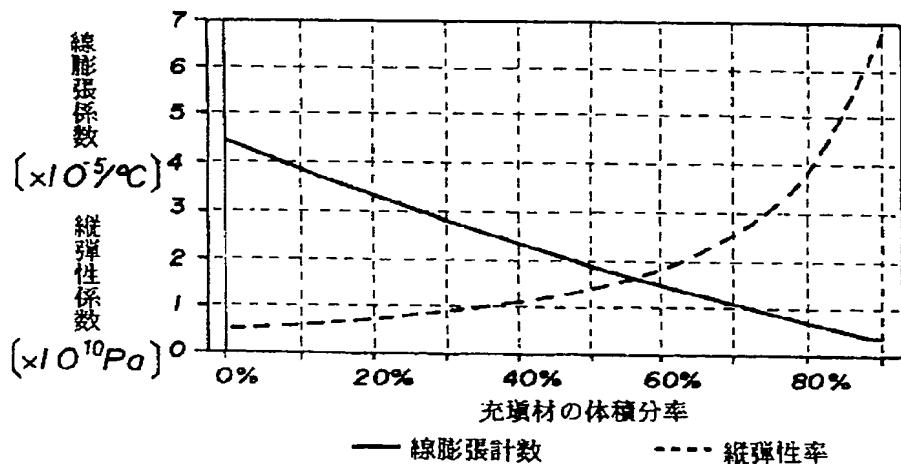


【図5】

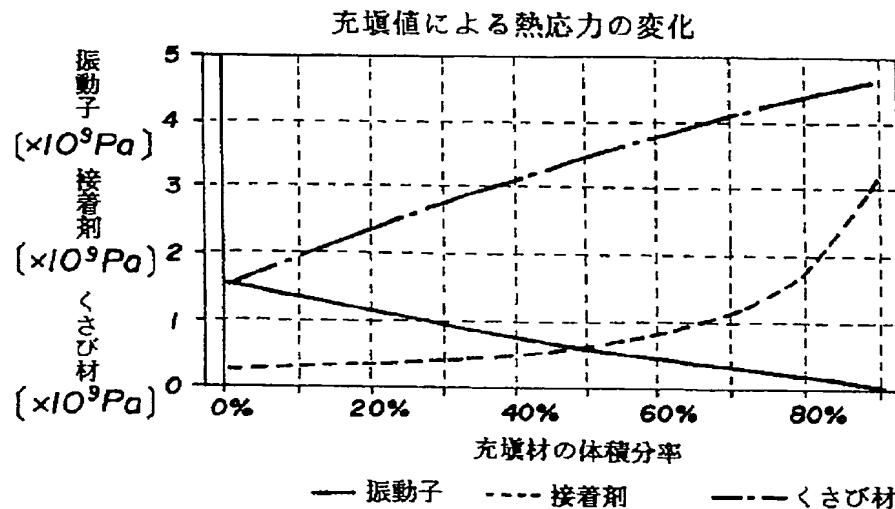


【図2】

充填量による物性値の変化

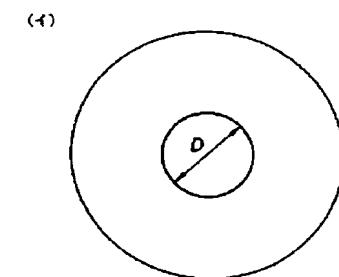
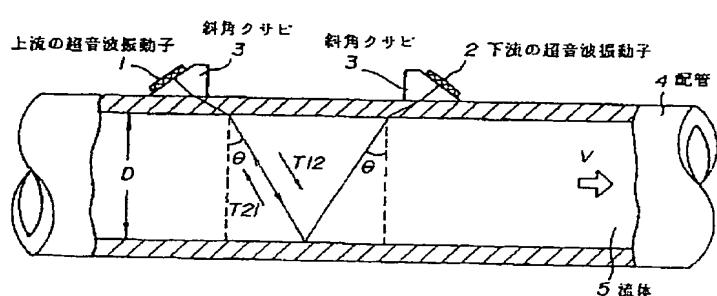


【図3】

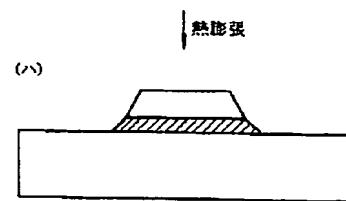
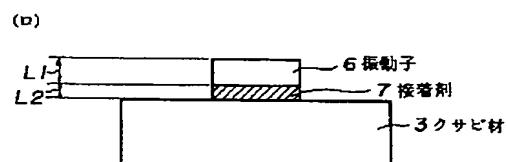
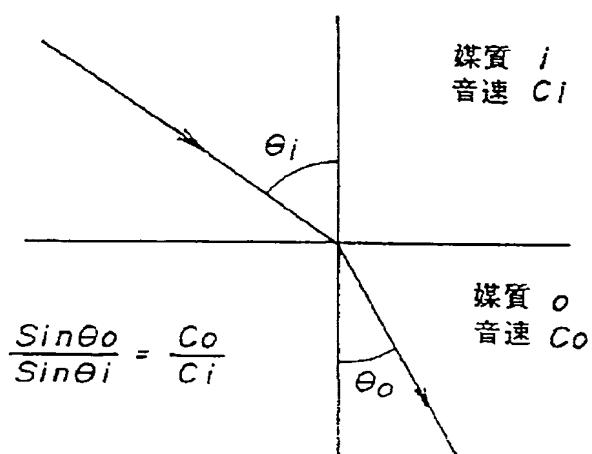


【図6】

【図4】



【図7】



フロントページの続き

△ (58)調査した分野(Int.Cl.?, DB名)

G01F 1/66 101

G01F 1/66